

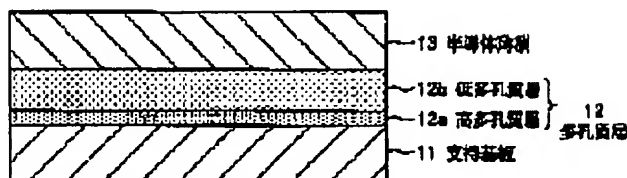
# SEMICONDUCTOR SUBSTRATE AND THIN-FILM SEMICONDUCTOR MEMBER, AND MANUFACTURE THEREOF

**Patent number:** JP11195562  
**Publication date:** 1999-07-21  
**Inventor:** INAKANAKA HIROSHI  
**Applicant:** SONY CORP  
**Classification:**  
 - International: H01L21/02; H01L21/3063; H01L31/04  
 - european:  
**Application number:** JP19970360429 19971226  
**Priority number(s):** JP19970360429 19971226

Report a data error here

## Abstract of JP11195562

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a semiconductor substrate, which has a reduced strain in a porous layer and can be readily separated at the porous layer, a thin-film semiconductor member having superior crystallinity, and methods for manufacturing them. **SOLUTION:** A substrate thin film 13 is formed on a substrate body 11 via a porous layer 12 consisting of a semiconductor. The semiconductor thin film 13 is separated from the porous layer 12 for use as a thin-film semiconductor member. The porous layer 12 has an impurity concentration which is changed along a direction of its thickness, or has an impurity concentration of  $1 \times 10^{18}$  cm<sup>-3</sup> or more. Accordingly, if a current density is reduced at the time of forming the porous layer 12 through anodic conversion, the porosity of the porous layer 12 can be changed in the thickness direction. Consequently, the strain of the porous layer 12 can be reduced, separation at the porous layer 12 can be readily achieved, and the crystallinity of the semiconductor thin film 13 can be improved.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-195562

(43)公開日 平成11年(1999) 7月21日

(51)IntCl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/02  
21/3063  
31/04H 0 1 L 21/02  
21/306  
31/04B  
L  
H

審査請求 未請求 請求項の数33 O L (全 16 頁)

(21)出願番号 特願平9-360429

(22)出願日 平成9年(1997)12月26日

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番35号

(72)発明者 田舎中 博士

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番35号 ソニ  
ー株式会社内

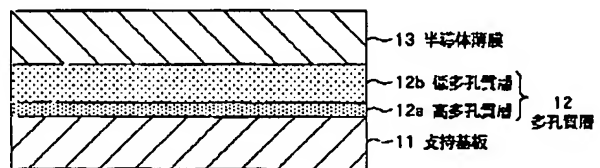
(74)代理人 弁理士 藤島 洋一郎

(54)【発明の名称】 半導体基板および薄膜半導体部材ならびにそれらの製造方法

(57)【要約】

【課題】 多孔質層における歪みが少なく多孔質層において容易に分離することができる半導体基板および優れた結晶性を有する薄膜半導体部材ならびにそれらの製造方法を提供する。

【解決手段】 基板本体11の上に半導体よりなる多孔質層12を介して半導体薄膜13が形成される。半導体薄膜13は多孔質層12から分離され薄膜半導体部材として用いられる。多孔質層12は厚さ方向において不純物濃度が変化しているかあるいは不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上となっている。よって、多孔質層12を陽極化成により形成する際に電流密度を小さくしても、多孔質層12の多孔率を厚さ方向において変化させることができる。従って、多孔質層12の歪みを少なくできると共に多孔質層12において容易に分離することができ、半導体薄膜13の結晶性も向上させることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多孔質の半導体よりなり、厚さ方向において不純物濃度に変化を有する多孔質層を備えたことを特徴とする半導体基板。

【請求項2】 前記多孔質層は、シリコンおよびゲルマニウムの少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウムと砒素とを含む半導体、あるいはガリウムと燐とを含む半導体あるいはガリウムと窒素とを含む半導体のいずれかにより構成されたことを特徴とする請求項1記載の半導体基板。

【請求項3】 前記多孔質層は、不純物濃度が異なる2以上の層を有することを特徴とする請求項1記載の半導体基板。

【請求項4】 前記多孔質層は支持基板の一面側に形成されると共に、不純物濃度が低く多孔率が高い高多孔質層と、不純物濃度が高く多孔率が低い低多孔質層とを有しており、高多孔質層は低多孔質層の少なくとも一部よりも支持基板寄りに位置することを特徴とする請求項3記載の半導体基板。

【請求項5】 前記支持基板および前記多孔質層はp型不純物を含むp型のシリコンによりそれぞれ構成されると共に、前記多孔質層のうち前記低多孔質層のp型不純物濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上であり前記高多孔質層のp型不純物濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ よりも低いことを特徴とする請求項4記載の半導体基板。

【請求項6】 更に、前記多孔質層の一面側に半導体薄膜を備えたことを特徴とする請求項1記載の半導体基板。

【請求項7】 前記半導体薄膜は、シリコンおよびゲルマニウムの少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウムと砒素とを含む半導体、あるいはガリウムと燐とを含む半導体あるいはガリウムと窒素とを含む半導体のいずれかにより構成されたことを特徴とする請求項6記載の半導体基板。

【請求項8】 前記半導体薄膜は単結晶により構成されたことを特徴とする請求項6記載の半導体基板。

【請求項9】 前記多孔質層は、凹凸を有することを特徴とする請求項1記載の半導体基板。

【請求項10】  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む多孔質の半導体よりなる多孔質層を備えたことを特徴とする半導体基板。

【請求項11】 エピタキシャル成長した成長層が多孔質化された多孔質層を備えたことを特徴とする半導体基板。

【請求項12】 多孔質の半導体により構成され厚さ方向において不純物濃度に変化を有する多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなることを特徴とする薄膜半導体部材。

【請求項13】 シリコンおよびゲルマニウムの少なく

とも一方を含む半導体、あるいはガリウムと砒素とを含む半導体、あるいはガリウムと燐とを含む半導体あるいはガリウムと窒素とを含む半導体のいずれかにより構成されたことを特徴とする請求項12記載の薄膜半導体部材。

【請求項14】 単結晶により構成されたことを特徴とする請求項12記載の半導体基板。

【請求項15】 凹凸を有することを特徴とする請求項12記載の薄膜半導体部材。

【請求項16】  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む多孔質の半導体よりなる多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなることを特徴とする薄膜半導体部材。

【請求項17】 エピタキシャル成長した成長層が多孔質化された多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなることを特徴とする薄膜半導体部材。

【請求項18】 支持基板の一面側に、半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層を形成する不純物濃度変化層形成工程と、支持基板に形成した不純物濃度変化層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程とを含むことを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項19】 前記不純物濃度変化層形成工程では、不純物濃度が異なる2以上の層を有する不純物濃度変化層を形成すると共に、前記多孔質層形成工程では、多孔率が異なる2以上の層を有する多孔質層を形成することを特徴とする請求項18記載の半導体基板の製造方法。

【請求項20】 前記不純物濃度変化層形成工程では、支持基板の一面側に不純物濃度が異なる2以上の層を順次成長させることを特徴とする請求項19記載の半導体基板の製造方法。

【請求項21】 前記不純物濃度変化層形成工程では、支持基板の一面側に成長層を成長させたのち、この成長層に不純物を拡散することにより不純物濃度が異なる2以上の層を形成することを特徴とする請求項19記載の半導体基板の製造方法。

【請求項22】 前記不純物濃度変化層形成工程では、不純物濃度変化層をシリコンおよびゲルマニウムの少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウムと砒素とを含む半導体、あるいはガリウムと燐とを含む半導体あるいはガリウムと窒素とを含む半導体のいずれかにより形成することを特徴とする請求項18記載の半導体基板の製造方法。

【請求項23】 前記不純物濃度変化層形成工程では、低濃度の不純物を含む半導体よりなる低濃度層と、この低濃度層の支持基板と反対側に高濃度の不純物を含む半導体よりなる高濃度層とを形成することを特徴とする請

求項18記載の半導体基板の製造方法。

【請求項24】 前記不純物濃度変化層形成工程では、支持基板および不純物濃度変化層をp型不純物を含むp型のシリコンによりそれぞれ形成すると共に、不純物濃度変化層のうち低濃度層にはp型不純物を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ よりも低い濃度で添加し、高濃度層にはp型不純物を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の濃度で添加することを特徴とする請求項23記載の半導体基板の製造方法。

【請求項25】 前記不純物濃度変化層形成工程では、一面側に凹凸を有する支持基板を用いることを特徴とする請求項18記載の半導体基板の製造方法。

【請求項26】 更に、多孔質層の支持基板と反対側に半導体薄膜を形成する半導体薄膜形成工程を含むことを特徴とする請求項18記載の半導体基板の製造方法。

【請求項27】 前記半導体薄膜形成工程では、半導体薄膜をエピタキシャル成長させた単結晶により形成することを特徴とする請求項26記載の半導体基板の製造方法。

【請求項28】 前記半導体薄膜形成工程では、半導体薄膜を、シリコンおよびゲルマニウムの少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウムと砒素とを含む半導体、あるいはガリウムと燐とを含む半導体あるいはガリウムと窒素とを含む半導体のいずれかにより形成することを特徴とする請求項26記載の半導体基板の製造方法。

【請求項29】 更に、多孔質層を加熱し再結晶化させる加熱工程を含むことを特徴とする請求項18記載の半導体基板の製造方法。

【請求項30】 支持基板の一面側に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層を形成する不純物高含有層形成工程と、支持基板に形成した不純物高含有層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程とを含むことを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項31】 前記不純物高含有層形成工程では、不純物高含有層をエピタキシャル成長させることを特徴とする請求項30記載の半導体基板の製造方法。

【請求項32】 支持基板の一面側に、半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層を形成する不純物濃度変化層形成工程と、支持基板に形成した不純物濃度変化層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程と多孔質層の支持基板と反対側に半導体薄膜を形成する半導体薄膜形成工程と、半導体薄膜を多孔質層において支持基板から分離する分離工程とを含むことを特徴とする薄膜半導体部材の製造方法。

【請求項33】 支持基板の一面側に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}$

$^{-3}$ 以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層を形成する不純物高含有層形成工程と、

支持基板に形成した不純物高含有層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程と多孔質層の支持基板と反対側に半導体薄膜を形成する半導体薄膜形成工程と、

半導体薄膜を多孔質層において支持基板から分離する分離工程とを含むことを特徴とする薄膜半導体部材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多孔質層を有する半導体基板およびそれを用いて形成された薄膜半導体部材ならびにそれらの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】太陽電池などの分野においては、例えば、単結晶のインゴットを切断したシリコン(Si)よりなる支持基板の上に多孔質層を介してシリコンの薄膜を形成したのち、この薄膜を多孔質層において基板から剥離して用いる研究が進められている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】その際、薄膜を支持基板から容易に剥離するには、多孔質層を多孔率が異なる2以上の層により構成することが好ましい。このような多孔質層は、例えば、支持基板の表面を電流密度を変化させて陽極化成することにより形成することができる。なお、この陽極化成というのは、支持基板を陽極としてフッ化水素(HF)を含む電解液で通電を行うものである。具体的には、例えば、電界液として50%のフッ化水素水溶液とエチルアルコール( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )とを1:1の体積割合で混合した混合液を用いて、 $1 \text{ mA cm}^{-2}$ の電流密度で8分間、 $7 \text{ mA cm}^{-2}$ の電流密度で8分間、 $200 \text{ mA cm}^{-2}$ の電流密度で4秒間の陽極化成を順次行うことにより、多孔率が低い低多孔質層の間に多孔率が高い高多孔質層を形成することができる。

【0004】しかしながら、このようにインゴットを切断した支持基板の表面に電流密度を変化させた陽極化成により高多孔質層と低多孔質層とを形成すると、高多孔質層を形成するために電流密度を大きくする必要があった。そのため、多孔質層内に歪みが発生しやすく、その上に形成する薄膜の結晶性を向上させることができないという問題があった。また、電流密度を大きくすると、基板の面内において電流密度の分布が不均一となってしまうので、多孔質層内において高多孔質層がまだらに形成されてしまい、薄膜を容易に剥離できる部分と容易には剥離できない部分とが生じてしまうという問題もあった。更に、大きな電流密度で電流を流すには容量の大きな電流電源が必要であるという問題もあった。

【0005】本発明はかかる問題点を鑑みてなされたも

ので、その第1の目的は、陽極化成における電流密度を小さくすることにより、多孔質層における歪みが少なく多孔質層において容易に分離することができる半導体基板を提供することにある。

【0006】また、第2の目的は、優れた結晶性を有する薄膜半導体部材を提供することにある。

【0007】更に、第3の目的は、多孔質層を形成する際の陽極化成における電流密度を小さくすることができる半導体基板および薄膜半導体部材の製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】本発明による半導体基板は、多孔質の半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する多孔質層を備えたものである。

【0009】本発明による他の半導体基板は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む多孔質の半導体よりなる多孔質層を備えたものである。

【0010】本発明によるその他の半導体基板は、エピタキシャル成長した成長層が多孔質化された多孔質層を備えたものである。

【0011】本発明による薄膜半導体部材は、多孔質の半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなるものである。

【0012】本発明による他の薄膜半導体部材は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む多孔質の半導体よりなる多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなるものである。

【0013】本発明によるその他の薄膜半導体部材は、エピタキシャル成長した成長層が多孔質化された多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなるものである。

【0014】本発明による半導体基板の製造方法は、支持基板の一面側に、半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層を形成する不純物濃度変化層形成工程と、支持基板に形成した不純物濃度変化層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程とを含むものである。

【0015】本発明による他の半導体基板の製造方法は、支持基板の一面側に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層を形成する不純物高含有層形成工程と、支持基板に形成した不純物高含有層を陽極化成により多孔質化し多孔質層を形成する多孔質層形成工程とを含むものである。

【0016】本発明による薄膜半導体部材の製造方法は、支持基板の一面側に、半導体よりなり厚さ方向にお

いて不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層を形成する不純物濃度変化層形成工程と、支持基板に形成した不純物濃度変化層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程と、多孔質層の支持基板と反対側に半導体薄膜を形成する半導体薄膜形成工程と、半導体薄膜を多孔質層において支持基板から分離する工程とを含むものである。

【0017】本発明による他の薄膜半導体部材の製造方法は、支持基板の一面側に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層を形成する不純物高含有層形成工程と、支持基板に形成した不純物高含有層を陽極化成により多孔質化し多孔質層を形成する多孔質層形成工程と、多孔質層の支持基板と反対側に半導体薄膜を形成する半導体薄膜形成工程と、半導体薄膜を多孔質層において支持基板から分離する工程とを含むものである。

【0018】本発明による半導体基板では、多孔質層における不純物濃度が厚さ方向において変化しており、多孔率もこの不純物濃度の変化に応じて変化している。例えば、小さい電流密度の陽極化成により形成され、多孔質層における歪みは少なくなっている。

【0019】本発明による他の半導体基板では、多孔質層における不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上となっている。よって、例えば、陽極化成により多孔質化する際に電流密度を小さくでき、多孔質層における歪みが少なくなる。

【0020】本発明によるその他の半導体基板では、多孔質層がエピタキシャル成長された成長層により構成されている。よって、表面と平行な方向における多孔率を容易に均一とすることができ、または多孔質層を不純物濃度が高い半導体により構成することができる。

【0021】本発明による薄膜半導体部材では、厚さ方向における不純物濃度に変化を有する多孔質層を介して形成されている。この多孔質層は、不純物濃度の変化に応じて多孔率も変化しており、例えば、小さい電流密度の陽極化成により形成され、歪みが少なく、よって、薄膜半導体部材の結晶性も高くなっている。

【0022】本発明による他の薄膜半導体部材では、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む多孔質層を介して形成されている。この多孔質層は、例えば、小さい電流密度の陽極化成により形成され、歪みが少なく、よって、薄膜半導体部材の結晶性も高くなっている。

【0023】本発明による他の薄膜半導体部材では、エピタキシャル成長により得られた多孔質層を介して形成されている。この多孔質層は、表面と平行な方向における多孔率が容易に均一とされ、または不純物濃度の高い半導体により容易に構成される。

【0024】本発明による半導体基板の製造方法では、まず、支持基板の一面側に、厚さ方向において不純物濃

度に変化を有する不純物濃度変化層が形成される。次いで、陽極化成によりこの不純物濃度変化層が厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層とされる。

【0025】本発明による他の半導体基板の製造方法では、まず、支持基板の一面側に $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層が形成される。次いで、陽極化成によりこの不純物高含有層が多孔質層とされる。

【0026】本発明による薄膜半導体部材の製造方法では、まず、支持基板の一面側に、厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層が形成される。次いで、陽極化成によりこの不純物濃度変化層が厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層とされる。続いて、半導体薄膜が形成され、多孔質層において支持基板から分離される。

【0027】本発明による他の薄膜半導体部材の製造方法では、まず、支持基板の一面側に $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層が形成される。次いで、陽極化成によりこの不純物高含有層が多孔質層とされる。続いて、半導体薄膜が形成され、多孔質層において支持基板から分離される。

【0028】

【実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。なお、以下の実施の形態においては、半導体基板と共に薄膜半導体部材についても合わせて説明する。

【0029】図1は本発明の一実施の形態に係る半導体基板の構成を表すものである。この半導体基板は、支持基板11の一面側に多孔質層12を介して半導体薄膜13が形成されている。支持基板11、多孔質層12および半導体薄膜13は、シリコンおよびゲルマニウム(Ge)の少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウム(Ga)と砒素(As)とを含む半導体、あるいはガリウムと燐(P)とを含む半導体、あるいはガリウムと窒素(N)とを含む半導体などによりそれぞれ構成されている。それらを構成する半導体は互いに同一であっても異なってもよい。また、それらを構成する半導体はp型不純物を添加したp型半導体でもn型不純物を添加したn型半導体でも不純物を添加していないものでもよく、単結晶でも多結晶でもよい。

【0030】但し、後述するように多孔質層12を陽極化成により形成する場合には、支持基板11および多孔質層12をp型半導体により構成することが好ましい。また、支持基板11については、その表面に半導体よりなる多孔質層12を形成することができれば、サファイアなどの半導体以外の材料により構成してもよい。更に、この半導体基板は、半導体薄膜13を単結晶により構成する場合に特に有効である。半導体薄膜13を多結晶により構成する場合には、種々の基板(例えば後述する接着基板15(図5参照))の上に直接形成すること

が容易にできるが、単結晶により構成する場合にはそれが困難であり、この半導体基板によれば容易に優れた結晶性を有する単結晶の半導体薄膜13を得ることができるからである。

【0031】なお、支持基板11、多孔質層12および半導体薄膜13は、図1に示したように、表面がそれぞれ平坦面となっていてよいが、図2に示したように、支持基板11の表面が凹凸を有するように構成され、その凹凸面上に形成された多孔質層12および半導体薄膜13もそれぞれ凹凸を有するように構成されてもよい。このように半導体薄膜13を凹凸形状に構成すれば、この半導体薄膜13を薄膜半導体部材として例えば太陽電池に用いる場合に太陽電池の発電効率を高めることができるので好ましい。

【0032】多孔質層12は、多孔率が異なる複数の層(ここでは高多孔質層12aおよび低多孔質層12b)により構成されている。すなわち、多孔質層12は、厚さ方向(支持基板11の表面と垂直な方向)において多孔率に変化を有している。多孔質層12のうち支持基板11側(内部側)は多孔率が高い高多孔質層12aとなっており、支持基板11の反対側(表面側)は多孔率が低い低多孔質層12bとなっている。

【0033】このうち高多孔質層12aは、半導体薄膜13を支持基板11と分離するためのものであって、それらを容易に分離することができるよう多孔率は40~70%程度であることが好ましい。低多孔質層12bは、その表面に優れた結晶性を有する半導体薄膜13を形成することができるよう、高多孔質層12aよりも多孔率が低くなっている。

【0034】これら高多孔質層12aおよび低多孔質層12bは、多孔率と共に不純物濃度も異なっており、高多孔質層12aの不純物濃度は低く、低多孔質層12bの不純物濃度は高くなっている。すなわち、多孔質層12は、厚さ方向において不純物濃度に変化を有している。このように、高多孔質層12aと低多孔質層12bとの不純物濃度が異なっているのは、後述するようにこの多孔質層12を陽極化成により形成する際に不純物濃度に応じて多孔率を制御するためである。例えば、支持基板11および多孔質層12がp型不純物として例えばボロン(B)を添加したp型のシリコンによりそれぞれ構成される場合には、高多孔質層12aの不純物濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さく、低多孔質層12bの不純物濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが好ましい。ちなみに、高多孔質層12aおよび低多孔質層12bは、厚さ方向における不純物濃度がそれぞれ均一であってもよいが、変化を有するように構成されていてもよい。

【0035】これら高多孔質層12aおよび低多孔質層12bは、また、異なった不純物濃度を有する代わりに、不純物濃度が同一で、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上(好ま



しくは $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上)の不純物をそれぞれ有するように構成されてもよい。不純物濃度を高くすれば抵抗が低くなるので、後述するように多孔質層12を陽極化成により形成する際に電流密度の変化量を大きくしなくても高多孔質層12aと低多孔質層12bとを形成することができるからである。

【0036】多孔質層12は、また、例えば、エピタキシャル成長させた成長層を多孔質化することにより形成されたものであることが好ましい。不純物濃度を容易に高くすることができると共に、支持基板11の表面と平行な面(以下、表面平行面という)内における不純物濃度を容易に均一とすることができ、多孔率も容易に均一とすることができるからである。なお、多孔質層12は、支持基板11の表面全体に対して形成されていてもよいが、図3に示した平面図において網かけで示したように、支持基板11の表面の一部に対して形成されていてもよい。

【0037】また、図1においては、高多孔質層12aは低多孔質層12bの支持基板11側に位置し、低多孔質層12bは高多孔質層12aの半導体薄膜側に位置する場合について示したが、高多孔質層12aは低多孔質層12bの少なくとも一部よりも支持基板11寄りに位置していればよい。例えば、図4に示したように、低多孔質層12bに挟まれていてもよい。この場合、高多孔質層12aの両側(支持基板11側および半導体薄膜13側)の低多孔質層12bは、不純物濃度および多孔率が異なってもよい。

【0038】このような半導体基板は、例えば、図5に示したように、半導体薄膜13の表面に接着層14を介して接着基板15を張り付け、高多孔質層12aにおいて半導体薄膜13を支持基板11から分離して用いられる。この分離された半導体薄膜13は本実施の形態に係る薄膜半導体部材に該当し、接着基板15の上に形成された薄膜半導体部材として太陽電池などに用いられる。接着層14は、例えば、高多孔質層12aの強度よりも接着強度が強い光硬化性の樹脂接着剤により構成される。接着基板15は、例えば、光を透過するポリエチレンテレフタレート(PET)などの透明樹脂やガラスにより構成される。なお、支持基板11は、表面の多孔質層12が除去されたのち、再び支持基板11として用いられる。

【0039】このような構成を有する半導体基板および薄膜半導体部材は次のように製造することができる。

【0040】図6はその各製造工程を表すものである。まず、図6(a)に示したように、適宜の半導体よりなるあるいは表面に適宜の半導体の層を形成することができるサファイアなどの適宜の材料よりなる支持基板11を用意する。なお、支持基板11には、図2に示したような凹凸を有するものを用いてもよい。

【0041】次いで、同じく図6(a)に示したよう

に、この支持基板11の一面側に、厚さ方向において不純物濃度に変化を有する半導体よりなる不純物濃度変化層21を形成する(不純物濃度変化層形成工程)。具体的には、不純物濃度変化層21として不純物濃度が異なる複数の層(ここでは低濃度層21aおよび高濃度層21b)を形成する。この不純物濃度変化層21は後に多孔質層12となるものであり、その不純物濃度は形成したい多孔質層12の多孔率に応じて適宜決定する。すなわち、低濃度層21aの不純物濃度は高多孔質層12aの多孔率に応じて決定し、高濃度層21bの不純物濃度は低多孔質層12bの多孔率に応じて決定する。例えば、支持基板11および不純物濃度変化層21をそれぞれp型不純物としてボロンを添加したp型のシリコンにより形成する場合には、低濃度層21aの不純物濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さく、低多孔質層12bの不純物濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることが好ましい。

【0042】不純物濃度変化層の形成に際しては、図7(a)(b)に示したように、支持基板11の一面側に、CVD(Chemical Vapor Deposition)法などにより成長層として低濃度層21aをエピタキシャル成長させたのち、その表面に、同じくCVD法などにより成長層として高濃度層21bをエピタキシャル成長させてもよい。また、図8(a)(b)に示したように、支持基板11の一面側に、CVD(Chemical Vapor Deposition)法などにより成長層として低濃度層21aをエピタキシャル成長させたのち、その表面に不純物を拡散することにより拡散層として高濃度層21bを形成してもよい。更に、図示はしないが、支持基板11の一面側に、不純物を拡散することにより拡散層として低濃度層21aと高濃度層21bとを形成するようにしてもよい。

【0043】但し、低濃度層21aを形成する際には拡散よりもエピタキシャル成長させる方が好ましい。表面平行面内における不純物濃度を均一とすることができ、高多孔質層12aの表面平行面内における多孔率を均一とすることができるからである。

【0044】なお、不純物濃度変化層の形成においては、支持基板11と反対側の表面が高濃度層21bとなるように不純物濃度が異なる複数の層を形成すればよく、図6に示した場合のみならず、例えば図9に示したように、支持基板11の一面側に、高濃度層21b、低濃度層21aおよび高濃度層21bを支持基板側から順次形成するようにしてもよい。また、図10に示したように、支持基板11がp型の半導体により形成されている場合など、支持基板11の一部をそのまま低濃度層21aとみなし、その一面側に高濃度層21bを形成することにより、不純物濃度変化層としてもよい。

【0045】このようにして不純物濃度変化層21を形成したのち、図6(b)に示したように、陽極化成を行って不純物濃度変化層21を多孔質化し、多孔質層12



を形成する(多孔質層形成工程)。例えば、図11に示したように、不純物濃度変化層21を形成した支持基板11を2つの電解液槽31、32の間に配置すると共に、各電解液槽31、32の中に直流電源33と接続された白金電極34、35をそれぞれ配置し、支持基板11を陽極、白金電極34、35を陰極として電流を流し不純物濃度変化層21を多孔質化する。これは、伊藤らによる表面技術Vol. 46, No. 5, p. 8-13, 1995〔多孔質シリコンの陽極化成〕に示された方法である。電解液としては、例えば、フッ化水素とエチルアルコールとの混合液を用いる。

【0046】この陽極化成では、多孔質層12を形成する層における不純物濃度や流す電流の電流密度や電解液の濃度(例えばフッ化水素の濃度)などにより、多孔率が決定される。例えば、不純物濃度が低いと多孔率が高くなり、不純物濃度が高いと多孔率が低くなる。また、電流密度が大きいと多孔率が高くなり、電流密度が小さいと多孔率が低くなる。ここでは、不純物濃度変化層21が不純物濃度の異なる低濃度層21aと高濃度層21bとにより構成されているので、電流密度を小さく、処理時間を短くしても、あるいはフッ化水素の濃度を高くしても、低濃度層21aにおいては多孔率が高い高多孔質層12aが形成され、高濃度層21bにおいては多孔率が低い低多孔質層12bが形成される。なお、この陽極化成では、多孔質層12の積層方向に伸びる細長い孔が形成される。

【0047】また、この陽極化成では、支持基板11にp型半導体よりなるものを用いた場合など、不純物濃度変化層21に加えて、支持基板11の不純物濃度変化層21側の一部が多孔質化される場合もある。一方、この陽極化成では、不純物濃度変化層21の厚さ方向について全体を多孔質化する必要はなく、一部のみを多孔質化するようにしてもよい。

【0048】多孔質層12を形成したのち、例えば水素( $H_2$ )雰囲気中において加熱(例えば1080℃)し、多孔質層12を再結晶化させる(加熱工程)。これにより、低多孔質層12bでは微細孔が複数形成され、表面が滑らかとなる。ここでは、低多孔質層12bの不純物濃度が高くなっているため、再結晶化が起りやすくなっている。これに対し、高多孔質層12aでは支持基板11の表面とはほぼ平行な方向に伸びる空洞が形成され、強度が弱くなる。

【0049】そののち、図6(c)に示したように、多孔質層12の上に、例えばCVD法により半導体薄膜(例えば単結晶シリコンよりなる半導体薄膜)13をエピタキシャル成長させる(半導体薄膜形成工程)。これにより半導体基板が形成される。

【0050】このようにして半導体基板を形成したのち、半導体薄膜13の表面に適宜な接着基板15を適宜の接着層14により張り付け、支持基板11と半導体薄

膜13とを互いに反対側に引っ張るように外力を加え、高多孔質層12aにおいてそれらを分離する(分離工程)。これにより、図5に示したような薄膜半導体部材が形成される。

【0051】また、本実施の形態に係る半導体基板および薄膜半導体部材は、次のようにしても製造することができる。

【0052】図12はその各製造工程を表すものである。まず、図12(a)に示したように、先の製造方法と同様にして基板本体11を用意する。次いで、同じく図12(a)に示したように、この基板本体11の一面側に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上(好ましくは $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上)の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層22を形成する。この不純物高含有層22は後に多孔質層12となるものである。不純物濃度変化層の形成に際しては、CVD法などにより成長層としてエピタキシャル成長させてもよく、不純物を拡散することにより拡散層として形成してもよい。但し、成長層としてエピタキシャル成長させる方が、不純物濃度を容易に高くすることができるので好ましい。

【0053】続いて、図12(b)に示したように、先の製造方法と同様にして陽極化成を行い、不純物高含有層22を多孔質化して多孔質層12(例えば高多孔質層12aと低多孔質層12b)を形成する(多孔質層形成工程)。ここでは、不純物高含有層22の不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上と高くなっているため、抵抗が低く多孔質化されやすく、電流密度の差を小さくしても高多孔質層12aと低多孔質層12bとが形成される。また、短い処理時間で、電解液におけるフッ化水素の濃度が高くても多孔質化される。なお、この多孔質層形成工程では、不純物高含有層22の厚さ方向について全体を多孔質化する必要はなく、図12(b)に示したように、一部のみを多孔質化してもよい。

【0054】多孔質層12を形成したのち、先の製造方法と同様にして、例えば水素雰囲気中において加熱し、多孔質層12を再結晶化させる(加熱工程)。これにより、低多孔質層12bでは微細孔が複数形成され、表面が滑らかとなる。ここでは、不純物濃度が高くなっているため、再結晶化が起りやすくなっている。これに対し、高多孔質層12aでは支持基板11の表面とはほぼ平行な方向に伸びる空洞が形成され、強度が弱くなる。

【0055】そののち、図12(c)に示したように、先の製造方法と同様にして、多孔質層12の上に半導体薄膜13を形成する(半導体薄膜形成工程)。これにより半導体基板が形成される。このようにして半導体基板を形成したのち、先の製造方法と同様にして、半導体薄膜13の表面に適宜な接着基板15を適宜の接着層14により張り付け、高多孔質層12aにおいて分離する(分離工程)。これにより、図5に示したような薄膜半導体部材が形成される。

【0056】このように本実施の形態に係る半導体基板によれば、高多孔質層12aの不純物濃度を低くするようにしたので、陽極化成によって多孔質化を行う場合に小さい電流密度で多孔率を高くすることができる。よって、大きな電流密度の電流を流すことにより生ずる多孔質層12の歪みを削減することができ、半導体薄膜13の結晶性を向上させることができる。また、電流密度を小さくすることにより表面平行面内における電流密度を均一とすることができ、高多孔質層12aの表面平行面内における多孔率の均一性を向上させることができる。従って、高多孔質層12aにおいて半導体薄膜13と支持基板11とを容易に分離することができる。

【0057】また、本実施の形態に係る半導体基板によれば、多孔質層12の不純物濃度を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上とするようにしたので、陽極化成によって多孔質化を行う場合に電流密度の変化量を小さくし電流密度を小さくしても高多孔質層12aと低多孔質層12bとを形成することができる。よって、上述と同様の効果を得ることができる。

【0058】更に、低多孔質層12bあるいは多孔質層12の不純物濃度を高くするようにしたので、多孔質化した後の加熱により再結晶化が起こりやすく、表面を容易に滑らかにすることができる。よって、結晶性に優れた半導体薄膜13を得ることができる。

【0059】加えて、エピタキシャル成長させた成長層を多孔質化することにより多孔質層12を構成するようにしたので、不純物濃度を容易に高くすることができると共に、表面平行面内における不純物濃度を容易に均一とすることができ、多孔率を容易に均一とすることができる。

【0060】更にまた、半導体薄膜13が凹凸を有するように構成すれば、この半導体薄膜13を薄膜半導体部材として太陽電池に用いた場合には、太陽電池の発電効率を向上させることができる。

【0061】本実施の形態に係る薄膜半導体部材によれば、本実施の形態に係る半導体基板の半導体薄膜13を多孔質層12において支持基板11から分離したものであるため、本実施の形態に係る半導体基板と同様に、結晶性を向上させることができる。また、凹凸を有するように構成すれば、太陽電池に用いた場合にその発電効率を向上させることもできる。

【0062】本実施の形態に係る半導体基板の製造方法によれば、不純物濃度が低い低濃度層21aを形成するようにしたので、小さい電流密度で陽極化成を行っても多孔率が高い高多孔質層12aを形成することができる。よって、陽極化成における電流密度を小さくすることができ、半導体薄膜13の結晶性を向上させることができると共に、多孔質層12の表面平行面内における多孔率を均一とすることができる。また、電流電源の容量を小さくすることができ、製造コストを低減することが

できる。

【0063】更に、不純物濃度が低い低濃度層21aを形成するようにしたので、陽極化成の時間を短くしても多孔率が高い高多孔質層12aを形成することができる。よって、陽極化成における処理時間を短くすることができ、製造効率を向上させることができる。加えて、陽極化成の際に電解溶液におけるフッ化水素の濃度を高くしても多孔率が高い高多孔質層12aを形成することができる。よって、比較的安価であるフッ化水素の使用量を増やすことができ、製造コストを低減することができる。

【0064】更にまた、低濃度層21aをエピタキシャル成長させることにより形成するようにすれば、表面平行面内における不純物濃度を均一とすることができ、表面平行面内における多孔率の均一性を向上させることができる。

【0065】加えてまた、不純物濃度が高い高濃度層21bを形成するようにしたので、陽極化成により多孔率が低い低多孔質層12aを形成することができると共に、加熱により容易に再結晶化させることができ、表面を容易に滑らかとすることができる。よって、半導体薄膜13の結晶性を向上させることができる。

【0066】本実施の形態に係る他の半導体基板の製造方法によれば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む不純物高含有層22を形成するようにしたので、陽極化成の際の電流密度の変化量を小さくしても高多孔質層12aと低多孔質層12bとを形成することができ、陽極化成における電流密度を小さくすることができる。また、低多孔質層12bを加熱により容易に再結晶化させることができる。よって、上述と同様の効果を得ることができる。

【0067】更に、不純物高含有層22をエピタキシャル成長させることにより形成するようにすれば、容易に不純物の濃度を高くすることができ、本実施の形態に係る半導体基板を容易に実現することができる。

【0068】なお、本実施の形態に係る半導体基板の製造方法および他の半導体基板の製造方法において、表面に凹凸を有する支持基板11を用い、その凹凸面上に多孔質層12を介して半導体薄膜13を形成するようにすれば、凹凸を有する半導体薄膜13を容易に形成することができ、太陽電池に用いた場合にその発電効率を高めることができる半導体薄膜13を容易に得ることができる。

【0069】本実施の形態に係る薄膜半導体部材の製造方法および他の薄膜半導体部材の製造方法によれば、本実施の形態に係る半導体基板の製造方法あるいは他の半導体基板の製造方法を用いているので、本実施の形態に係る半導体基板の製造方法あるいは他の半導体基板の製造方法と同様の効果を有する。

【0070】

【実施例】更に、具体的な実施例を挙げて本発明を説明する。なお、以下の実施例においては、上記実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付して説明する。

【0071】(第1の実施例)図13は本発明の第1の実施例を説明するための図である。本実施例では、まず、図13(a)に示したように、ボロンを高濃度に添加したCZ(Czochralski)法によるp型シリコン単結晶(抵抗率は $0.01 \sim 0.02 \Omega \text{cm}$ )の支持基板11を用意し、その一面(100面)側に、シランガス( $\text{SiH}_4$ )を原料ガスとして用いたCVD法により、ボロンを $8 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる低濃度層21aを約 $1.3 \mu\text{m}$ の厚さでエピタキシャル成長させた。

【0072】次いで、図13(b)に示したように、低濃度層21aの表面に、同じくシランガスを用いたCVD法により、ボロンを $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる高濃度層21bを約 $3.8 \mu\text{m}$ の厚さでエピタキシャル成長させた(以上、不純物濃度変化層形成工程)。

【0073】続いて、図13(c)～(e)に示したように、電流密度を変化させて陽極化成を行い、高多孔質層12aおよび低多孔質層12bをそれぞれ形成した(多孔質層形成工程)。

【0074】ここで、陽極化成は上記実施の形態で説明した方法と同様にして行った。なお、電解液には50%のフッ化水素溶液とエチルアルコールとを1:1の体積割合で混合した混合液を用いた。また、電流は、まず $1 \text{mAcm}^{-2}$ の電流密度で8分間流して高濃度層21bの表面側一部を低多孔質層12bとし(図13(c))、次に $7 \text{mAcm}^{-2}$ の電流密度で8分間流して高濃度層21bの内部側も低多孔質層12bとし(図13(d))、更に $30 \text{mAcm}^{-2}$ の電流密度で1分間流して低濃度層21aを高多孔質層12aとすると共に、支持基板11の低濃度層21a側の一部を低多孔質層12bとした(図13(e))。

【0075】このようにして多孔質層12を形成したのち、常圧エピタキシャル成長装置を用い、水素雰囲気中で $1080^\circ\text{C}$ に加熱した(加熱工程)。室温から $1080^\circ\text{C}$ までの昇温は約20分間で行い、 $1080^\circ\text{C}$ では約40分間保持した。これにより、多孔質層12においては再結晶化が起り、低多孔質層12bの表面は滑らかとなり、高多孔質層12aの強度はいっそう弱まった。

【0076】そののち、図13(f)に示したように、 $1020^\circ\text{C}$ まで降温し、シランガスを原料ガスとして用いたCVDを20分間行うとにより、多孔質層12の表面に、単結晶のシリコンよりなる半導体薄膜13を約 $5 \mu\text{m}$ の厚さでエピタキシャル成長させた(半導体薄膜形成工程)。これにより半導体基板が形成された。

【0077】このようにして形成した半導体基板の断面を劈開し、走査電子顕微鏡(SEM; Scanning Electro

n Microscope)により観察した。その断面構造を概念的に図11に示す。

【0078】図14に示したように、多孔質層12のうち高濃度層21bを形成した領域は、多孔率が低い低多孔質層12bとなっており、加熱工程により再結晶化されたメッシュ構造となっていた。低濃度層21aを形成した領域は、多孔率が高い高多孔質層12aとなっており、表面平行面と平行な方向に広がる平らな空洞が形成され、ところどころに支持基板11側と低多孔質層12b側とを接続する柱状の結晶が形成されていた。支持基板11の高多孔質層12a側に隣接した領域は、ほとんど完全に再結晶化されており、わずかに微細孔が形成されている低多孔質層12bとなっていた。

【0079】なお、形成した半導体基板について、半導体薄膜13の表面に光硬化性の樹脂接着剤よりなる接着層14を介してPETよりなる接着基板15を張りつけ、支持基板11と接着基板15とを互いに反対側に引っ張るように外力を加え高多孔質層12aにおいて分離した(分離工程; 図5参照)。これにより、半導体薄膜13と支持基板11とは容易に分離され、薄膜半導体部材が形成された。

【0080】このように本実施例によれば、低濃度層21aを形成することにより小さい電流密度で陽極化成を行っても多孔率が高い高多孔質層12aを形成することができ、高多孔質層12aにおいて容易に分離することができることが分かった。また、高濃度層21bを形成することにより、多孔率が低い低多孔質層12bを形成することができ、加熱処理による再結晶化によりその表面を滑らかにすることができることが分かった。

【0081】(第2の実施例)図15は本発明の第2の実施例を説明するための図である。本実施例では、まず、図15(a)に示したように、第1の実施例と同一の支持基板11を用意し、その一面側に、シランガスを原料ガスとして用いたCVD法により、ボロンを $2.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる高濃度層21bを約 $10 \mu\text{m}$ の厚さでエピタキシャル成長させた。

【0082】次いで、同じく図15(a)に示したように、この高濃度層21bの表面に、シランガスを用いたCVD法により、ボロンを $8 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる低濃度層21aを約 $1.3 \mu\text{m}$ の厚さでエピタキシャル成長させた。

【0083】続いて、同じく図15(a)に示したように、この低濃度層21aの表面に、シランガスを用いたCVD法により、ボロンを $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる高濃度層21bを約 $3.7 \mu\text{m}$ の厚さでエピタキシャル成長させた(以上、不純物濃度変化層形成工程)。

【0084】低濃度層21aおよび高濃度層21bをそれぞれ形成したのち、図15(b)に示したように、陽

極化成を行い、高多孔質層12aおよび低多孔質層12bをそれぞれ形成した(多孔質層形成工程)。ここで、陽極化成は上記実施の形態で説明した方法と同様にして行った。なお、電解液には50%のフッ化水素溶液とエチルアルコールとを2:1の体積割合で混合した混合液を用いた。また、電流は、 $10\text{mA cm}^{-2}$ の電流密度で5分間流した。これにより、高濃度層21bは多孔率が低い低多孔質層12bとなり、低濃度層21aは多孔率が高い高多孔質層12aとなった。

【0085】このようにして多孔質層12を形成したのち、第1の実施例と同様にして加熱した(加熱工程)。そののち、図15(c)に示したように、第1の実施例と同様にして、多孔質層12の表面に単結晶のシリコンよりなる半導体薄膜13を約 $5\mu\text{m}$ の厚さでエピタキシャル成長させた(半導体薄膜形成工程)。これにより半導体基板が形成された。

【0086】このようにして形成した半導体基板の断面を劈開し、SEMにより観察した。その断面構造を概念的に図16に示す。図16に示したように、多孔質層12のうち半導体薄膜13側の高濃度層21bを形成した領域は、多孔率が低い低多孔質層12bとなっており、加熱工程により再結晶化されほぼ球状の微細孔が複数形成されたメッシュ構造となっていた。低濃度層21aを形成した領域は、多孔率が高い高多孔質層12aとなっており、表面平行面と平行な方向に広がる平らな空洞が形成され、ところどころに支持基板11側と低多孔質層12b側とを接続する柱状の結晶が形成されていた。支持基板11側の高濃度層21bを形成した領域は、ほとんど完全に再結晶化されており、わずかに微細孔が形成されている低多孔質層12bとなっていた。

【0087】なお、形成した半導体基板について、第1の実施例と同様にして半導体薄膜13を支持基板11から分離した(分離工程)。半導体薄膜13は高多孔質層12aにおいて容易に分離され、薄膜半導体部材が形成された。

【0088】このように本実施例によれば、低濃度層21aを形成することにより、小さい電流密度で処理時間を短くしかつ電解液のフッ化水素濃度を高くして陽極化成を行っても多孔率が高い高多孔質層12aを形成することができ、この高多孔質層12aにおいて容易に分離することができることが分かった。また、第1の実施例と同様に、高濃度層21bを形成することにより、多孔率が低い低多孔質層12bを形成することができ、加熱処理による再結晶化によりその表面を滑らかにすることができることも分かった。

【0089】(第3の実施例)図17は本発明の第3の実施例を説明するための図である。本実施例では、まず、図17(a)に示したように、第1の実施例と同一の支持基板11を用意し、その一面側に、シランガスを原料ガスとして用いたCVD法により、ボロンを3.0

$\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる高濃度層21bを約 $3.7\mu\text{m}$ の厚さでエピタキシャル成長させた(不純物濃度変化層形成工程)。なお、本実施例では、支持基板11のうち高濃度層21b側の一部を低濃度層21aとみなして、支持基板11の一部と高濃度層21bとで不純物濃度変化層とした。

【0090】次いで、図17(b)に示したように、陽極化成を行い、高多孔質層12aおよび低多孔質層12bをそれぞれ形成した(多孔質層形成工程)。ここで、陽極化成は上記実施の形態で説明した方法と同様にして行い、陽極化成の条件は第2の実施例と同様にした。これにより、高濃度層21bは多孔率が低い低多孔質層12bとなり、低濃度層21a(すなわち支持基板11の一部)は多孔率が高い高多孔質層12aとなった。

【0091】続いて、第1の実施例と同様にして加熱し(加熱工程)、図17(c)に示したように、第1の実施例と同様にして多孔質層12の表面に、単結晶のシリコンよりなる半導体薄膜13を約 $5\mu\text{m}$ の厚さでエピタキシャル成長させた(半導体薄膜形成工程)。これにより半導体基板が形成された。

【0092】このようにして形成した半導体基板の断面を劈開し、SEMにより観察した。その断面構造を概念的に図18に示す。図18に示したように、多孔質層12のうち高濃度層21bを形成した領域は、多孔率が低い低多孔質層12bとなっており、加熱工程により再結晶化されほぼ球状の微細孔が複数形成されたメッシュ構造となっていた。低濃度層21aに該当する領域(支持基板11の高濃度層21b近傍)は、多孔率が高い高多孔質層12aとなっており、表面平行面と平行な方向に広がる平らな空洞が形成され、ところどころに支持基板11側と低多孔質層12b側とを接続する柱状の結晶が形成されていた。

【0093】なお、形成した半導体基板について、第1の実施例と同様にして半導体薄膜13を支持基板11から分離した(分離工程)。半導体薄膜13は高多孔質層12aにおいて容易に分離され、薄膜半導体部材が形成された。

【0094】このように本実施例によっても、上記第1および第2の実施例と同様の効果を得ることができることが分かった。

【0095】(第4の実施例)本実施例では図12を参照して説明する。まず、第1の実施例と同一の支持基板11を用意し、その一面側に、シランガスを原料ガスとして用いたCVD法により、ボロンを添加した単結晶のシリコンよりなる不純物高含有層22を約 $1.4\mu\text{m}$ の厚さでエピタキシャル成長させた(不純物濃度変化層形成工程;図12(a)参照)。なお、不純物高含有層22におけるボロンの濃度は、 $1.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、 $1.3 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、 $1.5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、 $1.7 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ または $2.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ とし、それぞれ

について支持基板11を用意した。

【0096】次いで、電流密度を変化させて陽極化成をそれぞれ行い、高多孔質層12aおよび低多孔質層12bをそれぞれ形成した(多孔質層形成工程; 図12(b)参照)。ここで、陽極化成は上記実施の形態で説明した方法と同様にして行った。なお、電解液には50%のフッ化水素溶液とエチルアルコールとを1:1の体積割合で混合した混合液を用いた。また、電流は、まず $1\text{mA cm}^{-2}$ の電流密度で8分間流して不純物高含有層22の表面側一部を低多孔質層12bとし、次に $7\text{mA cm}^{-2}$ の電流密度で8分間流して不純物高含有層22の内部側も低多孔質層12bとし、更に $120\text{mA cm}^{-2}$ の電流密度で4秒間流して不純物高含有層22の内部一部を高多孔質層12aとした。

【0097】続いて、第1の実施例と同様にしてそれぞれ加熱し(加熱工程)、第1の実施例と同様にして多孔質層12の表面に単結晶のシリコンよりなる半導体薄膜13を約 $5\mu\text{m}$ の厚さでそれぞれエピタキシャル成長させた(半導体薄膜形成工程; 図12(c)参照)。これにより半導体基板が形成された。

【0098】このようにして形成した5種類の半導体基板の断面を劈開し、SEMにより観察した。そのうち、不純物高含有層22の不純物濃度を $1.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ とした半導体基板の断面構造を図19に、 $1.5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ とした半導体基板の断面構造を図20に、 $2.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ とした半導体基板の断面構造を図21にそれぞれ示す。

【0099】各半導体基板は、図19乃至図21に示したように、不純物高含有層22の内部に空洞が表面平行面と平行方向に広がった高多孔質層12aがそれぞれ形成されており、高多孔質層12aよりも半導体薄膜13側に再結晶化されたメッシュ構造を有する低多孔質層12bがそれぞれ形成されていた。但し、不純物高含有層22の不純物濃度を $1.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ としたものは、図19に示したように、低多孔質層12bの全体がほぼ球状の微細孔よりなるメッシュ構造となっていた。これに対して、不純物高含有層22の不純物濃度を $1.5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ としたものは、図20に示したように、低多孔質層12bのうち半導体薄膜13近傍のみがほぼ球状の微細孔よりなるメッシュ構造となっており、高多孔質層12aの近傍は微細孔がほとんどなくほぼ再結晶化されていた。また、不純物高含有層22の不純物濃度を $2.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ としたものは、図21に示したように、低多孔質層12bを構成する微細孔がほぼ球状ではなく楕円形状であった。

【0100】ちなみに、不純物高含有層22の不純物濃度を $1.3 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ としたもの、および $1.7 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ としたものについては図示しないが、 $1.3 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ としたものは $1.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ としたもの(図19参照)と $1.5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ (図2

0参照)の間の状態であり、 $1.7 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ としたものは $1.5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ としたもの(図20参照)と $2.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ (図21参照)の間の状態であった。

【0101】なお、形成した各半導体基板について、第1の実施例と同様にして半導体薄膜13を支持基板11から分離した(分離工程)。半導体薄膜13は高多孔質層12aにおいて容易に分離され、薄膜半導体部材が形成された。

【0102】このように本実施例によれば、不純物高含有層22を形成することにより電流密度の変化量を小さくして電流密度を小さくしても高多孔質層12aと低多孔質層12bとを形成することができ、高多孔質層12aにおいて容易に分離することができることが分かった。また、加熱処理による再結晶化によりその多孔質層12の表面を滑らかにすることができることが分かった。

【0103】以上、実施の形態および各実施例を挙げて本発明を説明したが、本発明はこれらの実施の形態および各実施例に限定されるものではなく、種々変形可能である。例えば、上記実施の形態および各実施例においては、多孔質層12を陽極化成によって形成する場合の具体的な例を挙げて説明したが、本発明は、他の陽極化成によっても形成することができる。

【0104】また、上記実施の形態および第1乃至第3の実施例においては、多孔質層12を不純物濃度が異なる複数の層(高多孔質層12aおよび低多孔質層12b)により構成するようにしたが、厚さ方向において不純物濃度が連続的に変化するように構成してもよい。

【0105】

【発明の効果】以上説明したように本発明の半導体基板によれば、多孔質層が厚さ方向において不純物濃度に変化を有するようにしたので、陽極化成によって多孔質化を行う場合に、小さい電流密度でも多孔質層の厚さ方向における多孔率を変化させることができる。よって、大きな電流密度の電流を流すことにより生ずる多孔質層の歪みを削減することができ、その表面に形成される半導体薄膜の結晶性を向上させることができるという効果を奏する。また、電流密度を小さくすることにより表面平行面内における電流密度を均一とすることができるので、表面平行面内における多孔率の均一性を向上させることができる。従って、多孔質層において容易に分離することができるという効果も奏する。

【0106】更に、不純物濃度が高い領域は加熱により再結晶化が起こりやすく、表面近傍の不純物濃度を高くすれば表面を容易に滑らかとすることができる。よって、表面に形成される半導体薄膜の結晶性を向上させることができるという効果も奏する。

【0107】本発明の他の半導体基板によれば、多孔質層が $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上の不純物を含むようにしたの



で、陽極化成によって多孔質化を行う場合に電流密度の変化量を小さくし電流密度を小さくしても多孔質層の厚さ方向における多孔率を変化させることができる。また、加熱により再結晶化が起こりやすく、表面を容易に滑らかとすることができる。よって、上述と同様の効果を奏する。

【0108】本発明のその他の半導体基板によれば、エピタキシャル成長させた成長層を多孔質化した多孔質層を備えるようにしたので、表面平行面内における多孔率を均一とすることができ、あるいは多孔質層の不純物濃度を容易に高くすることができる。よって、本発明の半導体基板を容易に実現することができる。

【0109】本発明の薄膜半導体部材によれば、本発明の多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されるようにしたので、結晶性を向上させることができるという効果を奏する。また、凹凸を有するように構成すれば、太陽電池として用いた場合にその発電効率を向上させることもできる。

【0110】本発明の半導体基板の製造方法によれば、厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層を形成するようにしたので、小さい電流密度で陽極化成を行っても多孔質層の多孔率を厚さ方向において変化させることができる。よって、陽極化成における電流密度を小さくすることができ、多孔質層の表面に形成する半導体薄膜の結晶性を向上させることができると共に、多孔質層の表面平行面内における多孔率を均一とすることができるという効果を奏する。また、電流電源の容量を小さくすることができ、製造コストを低減することができるという効果も奏する。

【0111】更に、陽極化成の時間を短くしても多孔質層の多孔率を厚さ方向において変化させることができる。よって、陽極化成における処理時間を短くすることができ、製造効率を向上させることができるという効果も奏する。加えて、陽極化成の際に電解溶液におけるフッ化水素の濃度を高くしても多孔質層の多孔率を厚さ方向において変化させることができる。よって、比較的安価であるフッ化水素の使用量を増やすことができ、製造コストを低減することができるという効果も奏する。

【0112】更にまた、不純物濃度が高い領域は加熱により容易に再結晶化させることができるので、表面近傍の不純物濃度を高くすれば表面を容易に滑らかとすることができる。よって、その上に形成する半導体薄膜の結晶性を向上させることができるという効果も奏する。

【0113】加えてまた、不純物濃度変化層を成長させることにより形成するようにすれば、表面平行面内における不純物濃度を容易に均一とすることができ、多孔質層の表面平行面内における多孔率の均一性を向上させることができるという効果も奏する。

【0114】更にまた、表面に凹凸を有する支持基板を用いれば、多孔質層の表面に凹凸を有する半導体薄膜を

容易に形成することができ、太陽電池として用いた場合にその発電効率を高めることができる半導体薄膜を容易に得ることができるという効果も奏する。

【0115】本発明の他の半導体基板の製造方法によれば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を含む不純物高含有層を形成するようにしたので、陽極化成の際の電流密度の変化量を小さくしても多孔質の厚さ方向における多孔率を容易に変化させることができ、陽極化成における電流密度を小さくすることができる。また、多孔質化層を容易に再結晶化させることができる。よって、上述と同様の効果を奏する。

【0116】更に、不純物高含有層をエピタキシャル成長させることにより形成するようにすれば、容易に不純物の濃度を高くすることができ、本実施の形態に係る半導体基板を容易に実現することができるという効果も奏する。

【0117】本発明の薄膜半導体部材の製造方法によれば、本発明の半導体基板の製造方法を用いているので、本発明の半導体基板の製造方法と同様の効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態に係る半導体基板の構成を表す断面図である。

【図2】図1に示した半導体基板の変形例を表す断面図である。

【図3】図1に示した半導体基板の変形例を表す平面図である。

【図4】図1に示した半導体基板の他の変形例を表す断面図である。

【図5】本発明の一実施の形態に係る薄膜半導体部材の構成を表す断面図である。

【図6】図1に示した半導体基板の製造方法を説明するための各製造工程図である。

【図7】図6に示した半導体基板の製造方法における不純物濃度変化層形成工程を説明するための各製造工程図である。

【図8】図6に示した半導体基板の製造方法における不純物濃度変化層形成工程を説明するための他の各製造工程図である。

【図9】図6に示した半導体基板の製造方法における他の不純物濃度変化層形成工程を説明するための製造工程図である。

【図10】図6に示した半導体基板の製造方法におけるその他の不純物濃度変化層形成工程を説明するための製造工程図である。

【図11】図6に示した半導体基板の製造方法における多孔質層形成工程に用いる陽極化成装置の構成を表す断面図である。

【図12】図1に示した半導体基板の他の製造方法を説明するための各製造工程図である。

【図13】本発明の第1の実施例を説明するための断面

図である。

【図14】図10に示した半導体基板における多孔質層の状態を説明するための概念図である。

【図15】本発明の第2の実施例を説明するための断面図である。

【図16】図12に示した半導体基板における多孔質層の状態を説明するための概念図である。

【図17】本発明の第3の実施例を説明するための断面図である。

【図18】図17に示した半導体基板における多孔質層の状態を説明するための概念図である。

【図19】本発明の第4の実施例における多孔質層の状

態を説明するための概念図である。

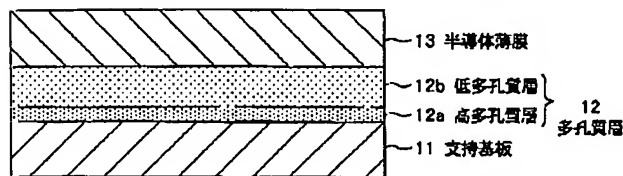
【図20】本発明の第4の実施例における他の多孔質層の状態を説明するための概念図である。

【図21】本発明の第4の実施例におけるその他の多孔質層の状態を説明するための概念図である。

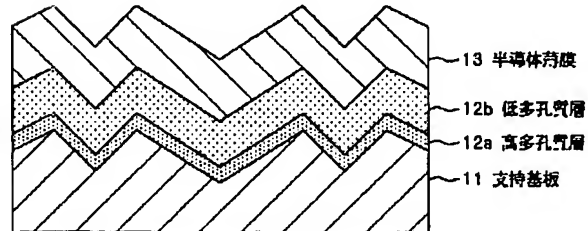
【符号の説明】

11…支持基板、12…多孔質層、12a…高多孔質層、12b…低多孔質層、13…半導体薄膜（薄膜半導体部材）、14…接着層、15…接着基板、21…不純物濃度変化層、21a…低濃度層、21b…高濃度層、22…不純物高含有層、31、32…電解液槽、33…直流電源、34、35…白金電極

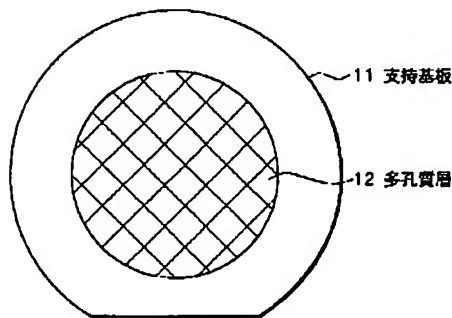
【図1】



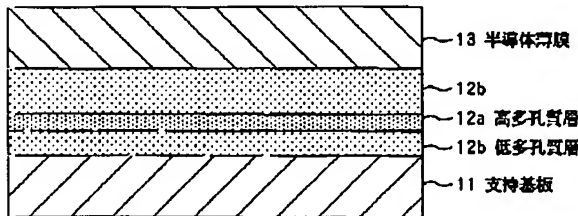
【図2】



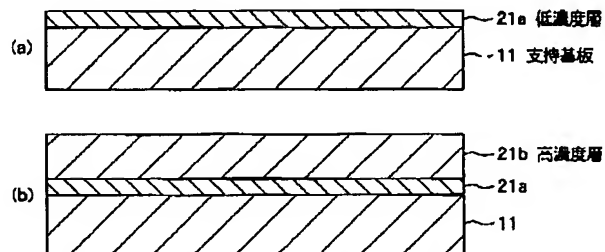
【図3】



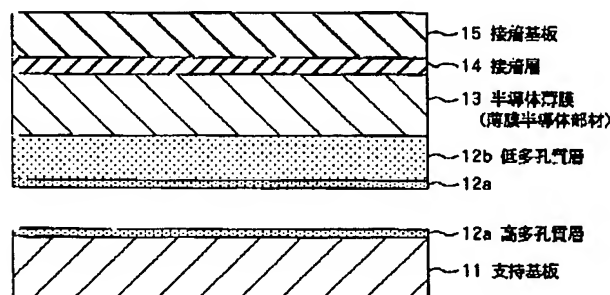
【図4】



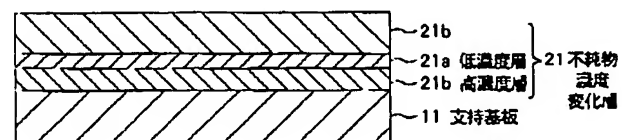
【図7】



【図5】

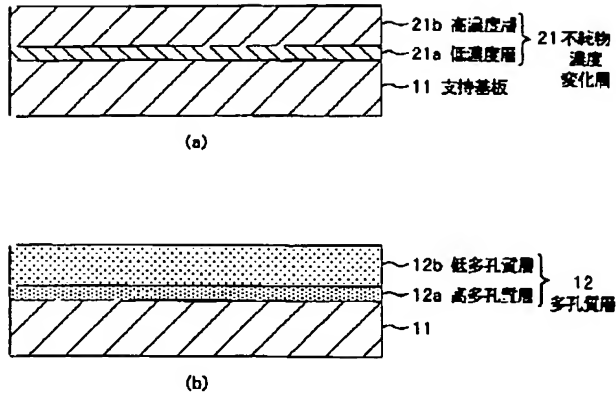


【図9】

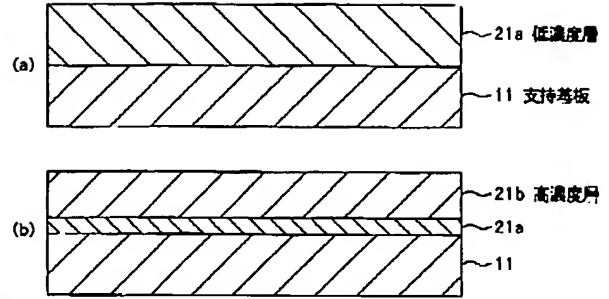




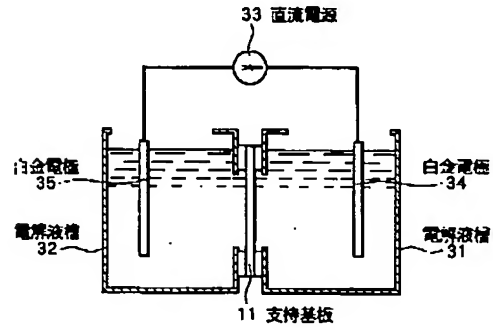
【図6】



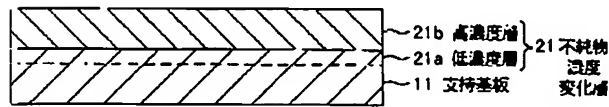
【図8】



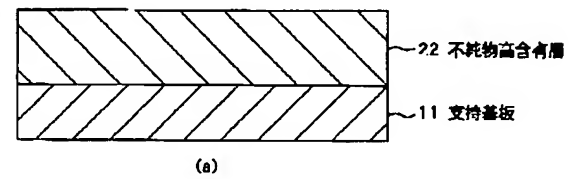
【図11】



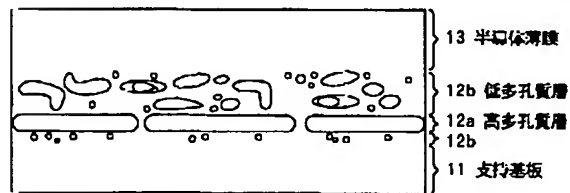
【図10】



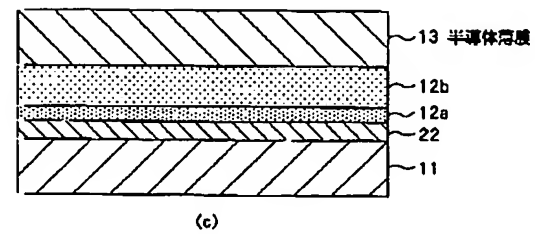
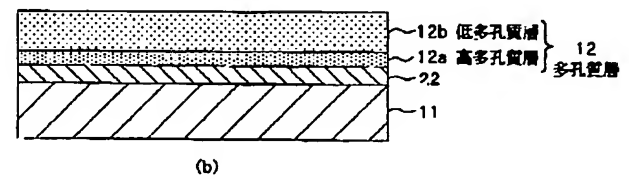
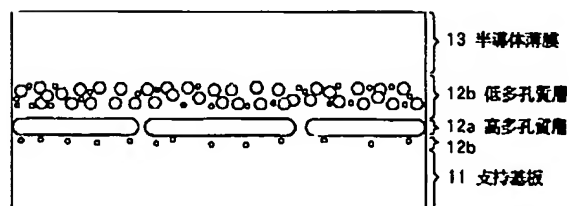
【図12】



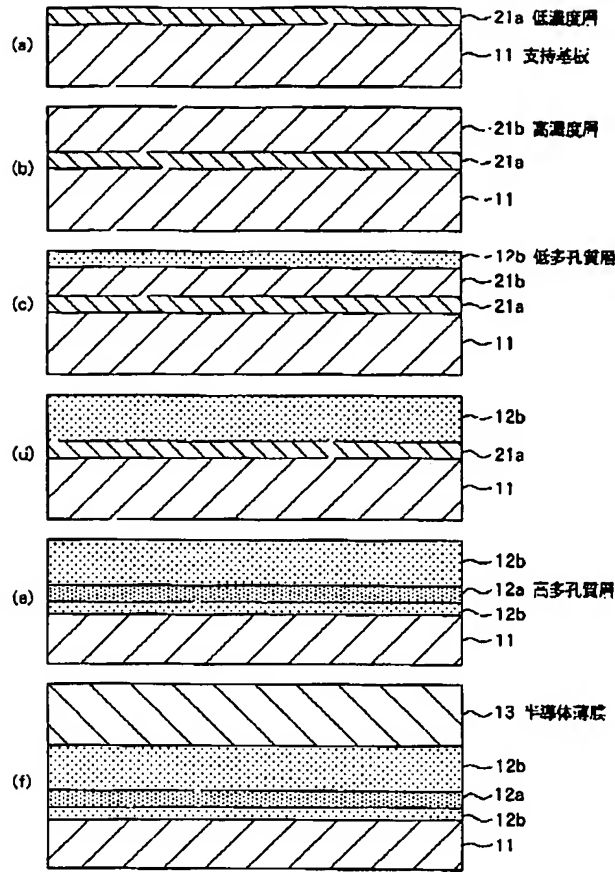
【図14】



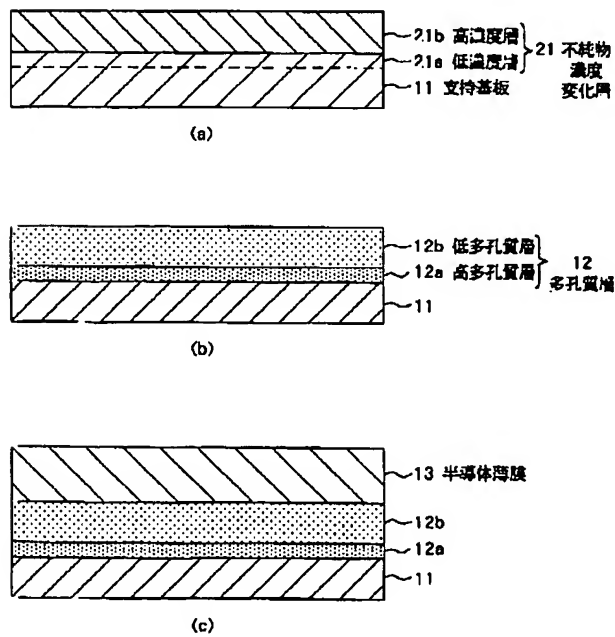
【図16】



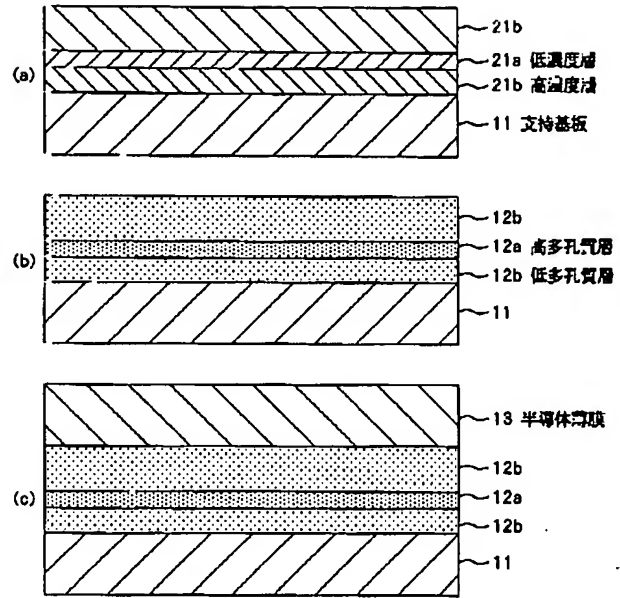
【図13】



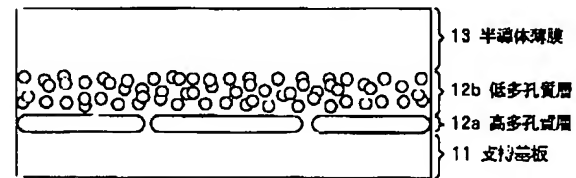
【図17】



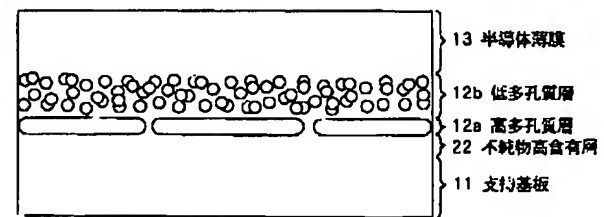
【図15】



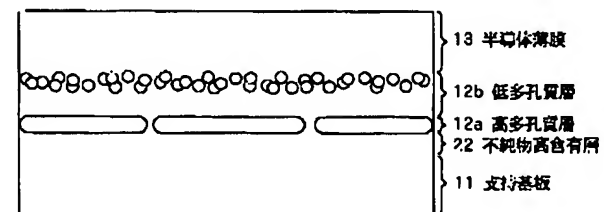
【図18】



【図19】



【図20】



【図21】

